Fasesplitsers

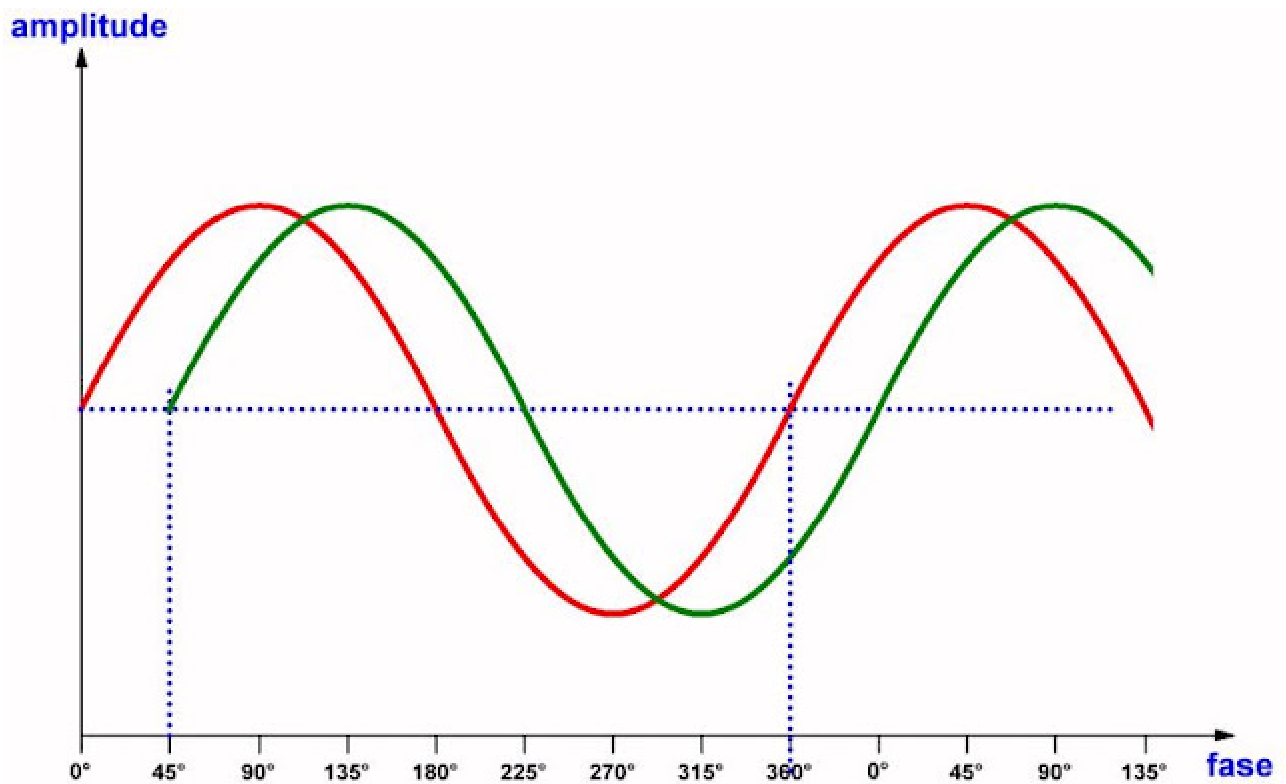
Fasesplitsers zetten één analoge ingang om in twee analoge uitgangen die alleen verschillen door het feit dat er een faseverschil van 180° aanwezig is tussen beide signalen. Deze schakelingen hebben nuttige toepassingen die uiteraard in dit artikel aan de orde komen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 29-10-2019

Achtergrondinformatie over het begrip fase

Wat is de fase van een periodiek signaal?
Periodieke signalen zijn signalen die zich in het verloop van de tijd steeds gelijkvormig herhalen. Eén zo'n cyclus noemt men de periode van het signaal. Nu is het van belang om te weten hoe de grootte van het signaal evolueert in het verloop van een periode. U kunt zo'n signaal uiteraard tekenen in een assenstelsel en de horizontale as ijken in seconden, milliseconden of microseconden. U kunt dan voor ieder tijdsverloop de grootte van het signaal op de verticale as aflezen.
Zo'n horizontale as die geijkt is in tijden is echter niet universeel. Vandaar dat men een andere manier heeft gevonden om het amplitudeverloop te kunnen definiëren. Eén periode van het signaal wordt ingedeeld in 360 graden, voorgesteld door 360°. U kunt nu het amplitudeverloop van het signaal gaan uitdrukken in functie van die 360 graden. U kunt bijvoorbeeld zeggen *'na 40° heeft dit signaal een grootte van 3,6 V'*. Dat is dan voor iedereen duidelijk, wat ook de tijdschaal van het signaal is. Het aantal graden dat verloopt vanaf het begin van de periode noemt men de *'fase'* van het signaal. Of, iets ingewikkelder uitgedrukt, de fase van een periodiek signaal beschrijft de huidige positie in een periode ten opzichte van een referentiepunt, het begin van de periode.

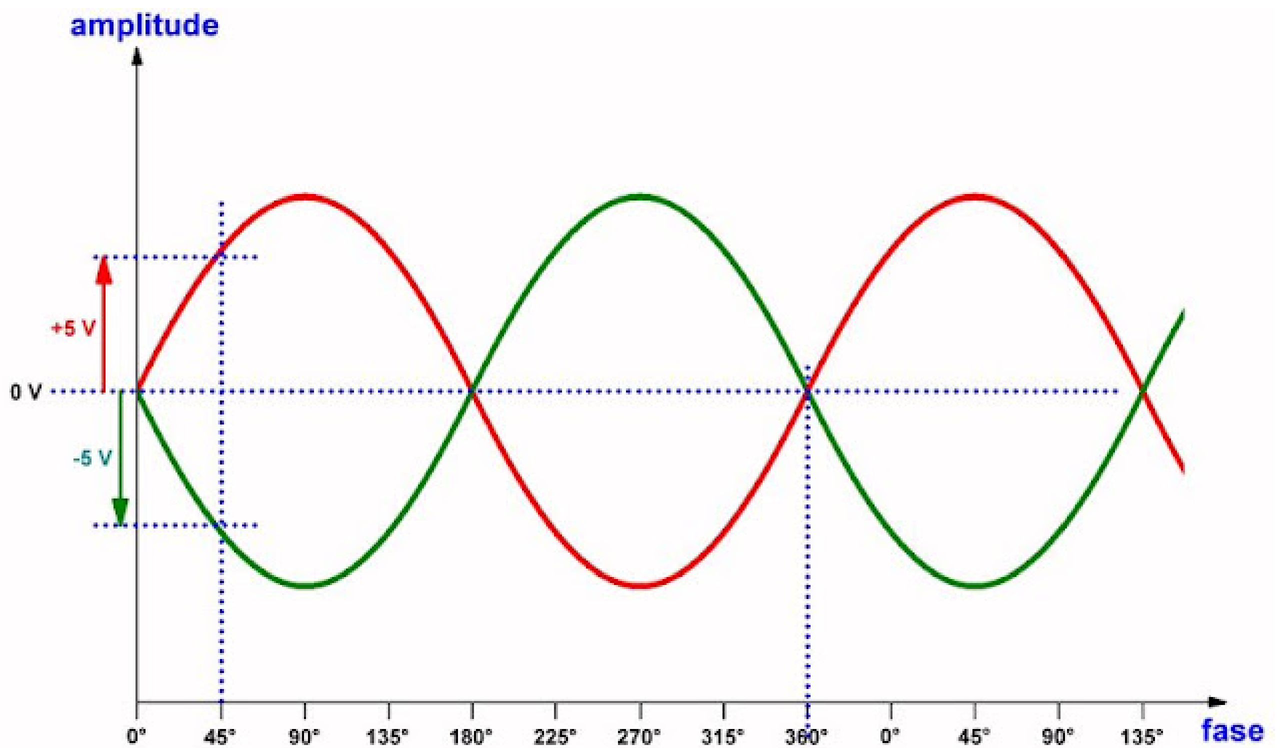
Vergelijken van signalen door hun faseverschil
Onderdelen zoals condensatoren en spoelen veroorzaken faseverschillen in de signalen die door deze onderdelen lopen. In de onderstaande grafiek zijn bijvoorbeeld het in- en het uitgangssignaal getekend van een bepaalde schakeling waarin spoelen en condensatoren voorkomen. Als u de periode van de signalen indeelt in 360°, dan merkt u dat er een faseverschil aanwezig is tussen de twee signalen van 45°. Dit faseverschil noemt men de *'faseverschuiving'* of de *'fasehoek'* tussen de twee signalen.



Het vergelijken van de fase van twee identieke signalen. (© 2019 Jos Verstraten)

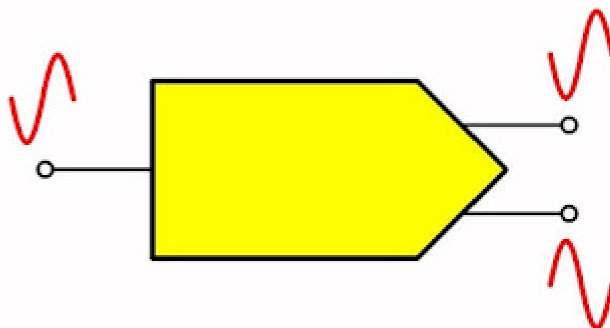
Een faseverschuiving van 180°
Een speciale situatie doet zich voor als er tussen twee identieke signalen een faseverschuiving van exact 180° aanwezig is. Men noemt dit *'tegenfase'*. Dit is in de onderstaande figuur getekend. De momentane grootte van de twee signalen is op ieder moment gelijk in getalswaarde, maar tegengesteld van polariteit. In de figuur is een voorbeeld getekend. Bij een fase van 45° is de rode spanning gelijk aan +5,0 V en de groene spanning gelijk aan -5,0 V. Dit geldt, dat zal duidelijk zijn, bij iedere fasehoek.
Dergelijke signalen hebben een aantal interessante toepassingen, die in dit artikel aan de orde komen:

- Opheffen van overspraak in de audiotechniek.
- Peak programme meters.
- Omzetten van asymmetrische signalen in symmetrische signalen.
- Aansturing van push-pull eindtrappen.
- Aansturing van brugversterkers.



Twee identieke signalen met een faseverschuiving van 180°. (© 2019 Jos Verstraten)

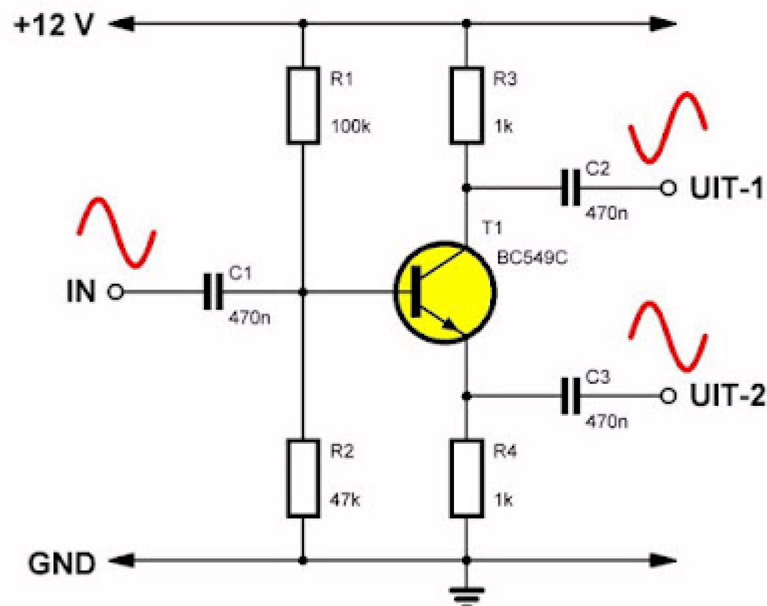
Fasesplitsers
Omdat dergelijke signalen handige toepassingen hebben, heeft men uiteraard schakelingen bedacht die dergelijke signalen genereren. Deze schakelingen heten *'fasesplitsers'* of *'fasedraaiers'*. In de Engelstalige literatuur heeft men het over *'phase splitters'*. Het symbool van een dergelijke schakeling is getekend in de onderstaande figuur.



Het blokschematische symbool van een fasesplitser.
(© 2019 Jos Verstraten)

Praktische schakelingen van fasesplitsers

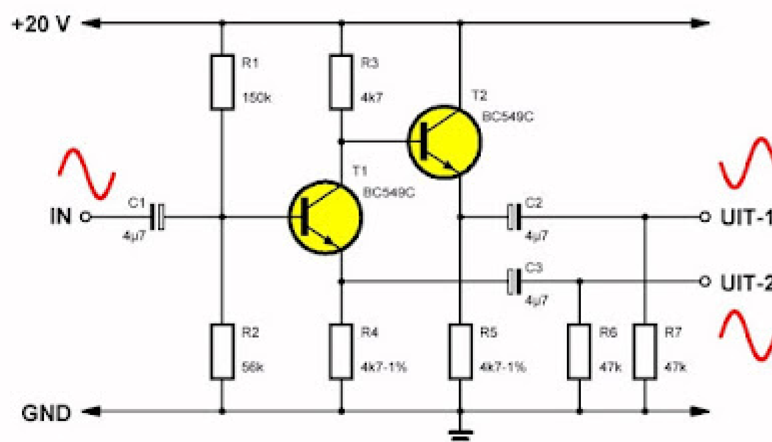
De een-transistor schakeling
Het basisschema van de allereenvoudigste fasesplitser is getekend in de onderstaande figuur. De schakeling wordt gekenmerkt door emitter- en collectorweerstanden die even groot zijn. De emitterweerstand zorgt uiteraard voor een zeer zware tegenkoppeling, waardoor de signaalversterking gelijk wordt aan een. Het signaal op de emitter is dus even groot als het signaal op de basis. De collectorstroom vloeit door de weerstanden R3 en R4. Over R4 zal een signaalspanning ontstaan die in fase is met het ingangssignaal. Over R3 ontstaat een signaalspanning die in tegenfase is met het basissignaal. Omdat beide weerstanden even groot zijn en door vrijwel dezelfde stroom worden doorlopen zullen ook beide uitgangsspanningen vrijwel even groot zijn. Het enige verschil is dus dat beide uitgangen ten opzichte van elkaar 180° in fase verschoven zijn.



Een fasesplitser met slechts één transistor. (© 2019 Jos Verstraten)

Nadelen van deze schakeling
In de vorige paragraaf staat twee keer het woord *'vrijwel'*. De collectorstroom is immers niet helemaal gelijk aan de emitterstroom. Ook de basisstroom vloeit door de weerstand R4. Over R4 zal dus een iets groter signaal ontstaan dan over R3. Hoe hoger de stroomversterking van de transistor, hoe kleiner deze afwijking zal zijn.
Er is echter een groter nadeel. Deze schakeling staat uiteraard niet op zichzelf, maar u sluit 'iets' aan op de twee uitgangen. Dat 'iets' heeft een ingangsweerstand en deze weerstand belast de twee uitgangen. Nu is de inwendige weerstand op de collector absoluut niet gelijk aan de inwendige weerstand op de emitter. Deze laatste is namelijk veel lager als gevolg van de zware terugkoppeling. Als u dus de schakeling belast met andere schakelingen, dan is het maar de vraag of de amplitude gelijkheid van beide signalen blijft bestaan. De kans dat de spanning UIT-2 tamelijk constant blijft is vrij groot, maar de kans dat de spanning UIT-1 in elkaar stort is ook vrij groot. Dan gaat de noodzakelijke amplitude gelijkheid van beide signalen verloren.

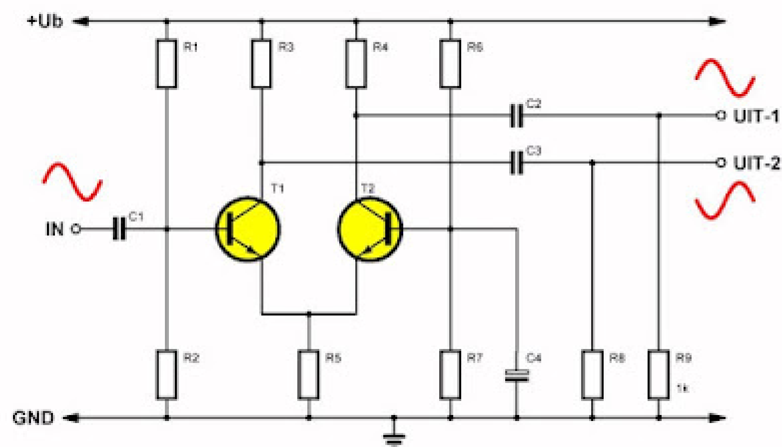
De gebufferde fasesplitser
Een oplossing voor dit probleem is de collector aan te sluiten op een emittervolger, zoals getekend in de onderstaande figuur. De twee weerstanden R4 en R5 moeten 1 % exemplaren zijn. Als u een sinus met een effectieve waarde van 500 mV op de ingang aansluit, zullen de twee uitgangsspanningen binnen 200 µV aan elkaar gelijk zijn.



Een gebufferde fasesplitser. (© 2019 Jos Verstraten)

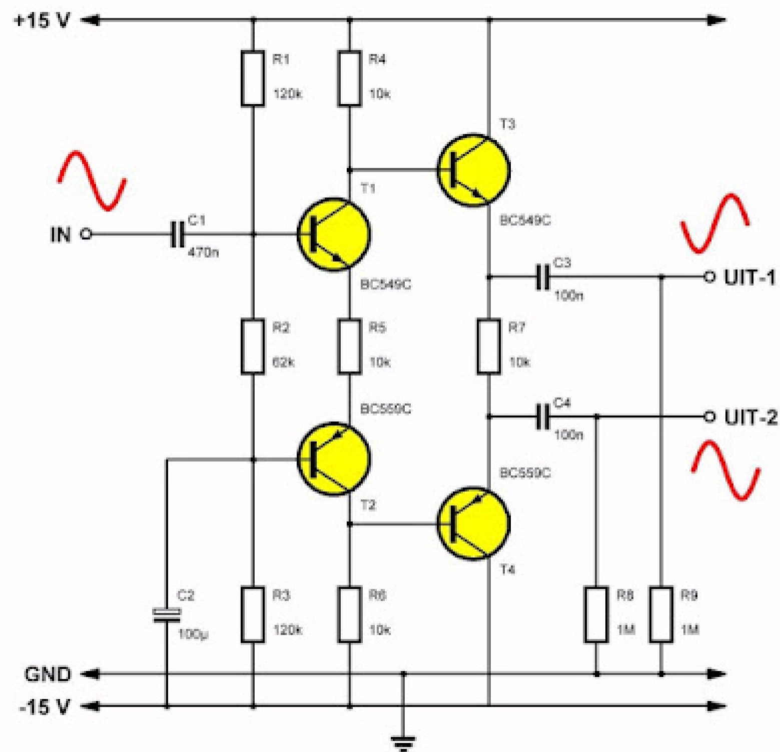
De long tailed pair fasesplitser

Het in de onderstaande figuur voorgestelde schema herkent u waarschijnlijk onmiddellijk als de ingangstrap van een verschilversterker. Een van de ingangen, de basis van T2, wordt nu echter voor wisselspanningen op massapotentiaal gehouden via de ontkoppelingscondensator C4. Deze heeft een lage impedantie voor wisselspanningen en zorgt ervoor dat de basis van deze halfgeleider alleen gelijkspanning ziet.
Als het signaal aan de ingang groter wordt zal T1 meer gaan geleiden. De stijgende collectorstroom zorgt voor een spanningsval over R3, de collectorspanning daalt. Deze stroom veroorzaakt echter ook een spanningsval over R5, de emitterspanning stijgt. Het gevolg is dat de basis/emitter-spanning van T2 kleiner wordt en deze transistor minder gaat geleiden. De collectorstroom daalt en de spanning op de collector stijgt.
Als beide transistoren identieke eigenschappen hebben zal de stroomstijging door T1 precies even groot zijn als de stroomdaling door T2. Het vreemde van deze schakeling is dus dat de spanning over de gemeenschappelijke emitterweerstand constant blijft. Als u voor R3 en R4 even grote weerstanden kiest zullen de spanningen op beide collectoren even groot zijn, maar een faseverschil van 180° vertonen.



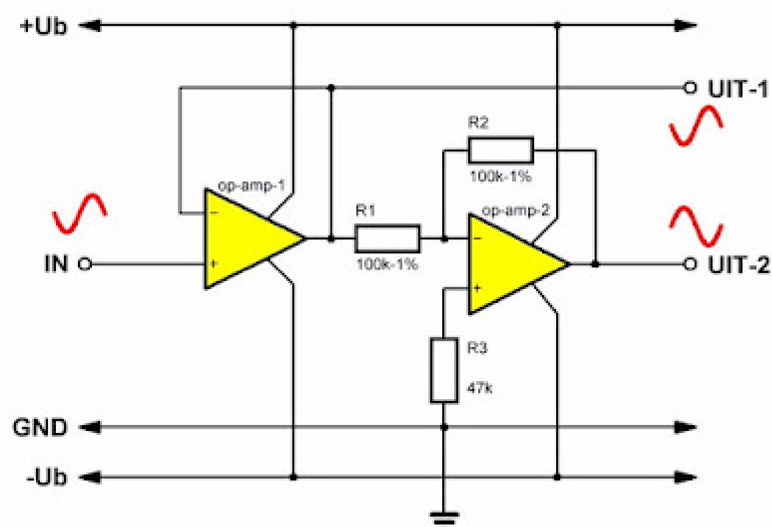
Het basisschema van de long tailed pair fasesplitser. (© 2019 Jos Verstraten)

De bastode-aikido fasesplitser
Tot slot van de transistorschakelingen ziet u in de onderstaande figuur een wel heel uitgebreid schema voor zo iets simpels als het inverteren van de fase van een ingangssignaal. Volgens de ontwerpers blinkt dit schema uit in het onderdrukken van ruis en rimpel op de beide voedingsspanningen. Als het ingangssignaal groter wordt gaat T1 meer geleiden. Zijn collectorspanning daalt, met als gevolg dat ook UIT-1 gaat dalen. Het dalen van de stroom door de serieketen van T3 en T4 heeft tot gevolg dat de spanning UIT-2 gaat stijgen.



Het basisschema van de bastode-aikido fasesplitser. (© 2019 Jos Verstraten)

Een fasesplitser met op-amp's
Uiteraard kunt u ook aan de slag gaan met operationele versterkers. Als u deze symmetrisch voedt wordt het schema vereenvoudigd tot wat in de onderstaande figuur is getekend. Op-amp-1 werkt als spanningsvolger met een zeer hoge ingangsimpedantie en een zeer lage inwendige weerstand. Op-amp-2 is geschakeld als inverterende versterker met een spanningsversterking van exact -1. Daarvoor zorgen de twee identieke weerstanden R1 en R2. Op de twee uitgangen van de op-amp's staan de twee even grote, maar 180° in fase verschoven signalen.

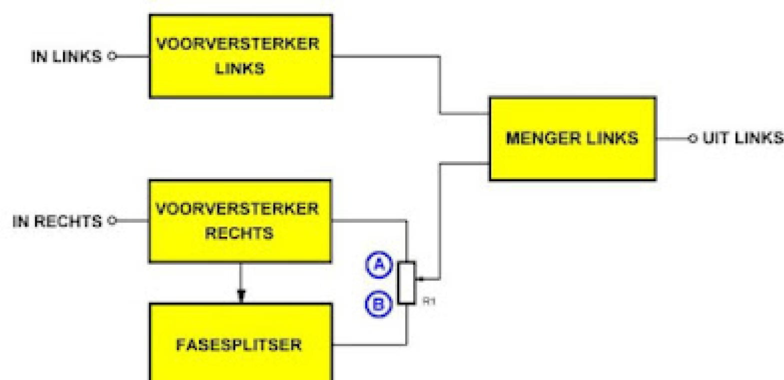


Een fasesplitser rond twee op-amp's. (© 2019 Jos Verstraten)

Toepassing 1: opheffen van overspraak bij audio

Waar gaat het over?
Er is sprake van *'overspraak'* bij stereo weergave als een deel van het rechter signaal in het linker kanaal doordringt en uiteraard vice versa. Als er te veel overspraak tussen de kanalen

aanwezig is klinkt het geluid onnatuurlijk en moet u die overspraak verkleinen. Om die situatie te verbeteren volstaat het dat u het ongewenste gedeelte van het rechter kanaal uit het signaal van het linker kanaal filtert (en vice versa). De rechter voorversterker stuurt zowel een aansluiting van de potentiometer R1 als een fasesplitser. Deze laatste schakeling stuurt de tweede aansluiting van de potentiometer. De loper gaat naar de tweede ingang van een menger. Door het verdraaien van de loper van de potentiometer van punt A naar punt B kunt u met één potentiometer-draai de mate van overspraak instellen.
Aan de linker menger worden drie signalen aangeboden. Het volledige linker signaal, een gedeelte van het rechter kanaal (te danken aan de overspraak van het systeem) en precies het omgekeerde van dat deel van het rechter signaal (via de loper van de potentiometer). Aan de uitgang van de menger zal bijgevolg alleen maar het linker signaal verschijnen, omdat de twee rechter fracties bij een bepaalde stand van de potentiometer elkaar opheffen.
Kortom, dank zij deze eenvoudige methode hebt u de overspraak tussen uw linker en rechter kanaal verwijderd en is de basisbreedte van het geluidssignaal aanmerkelijk verbeterd.

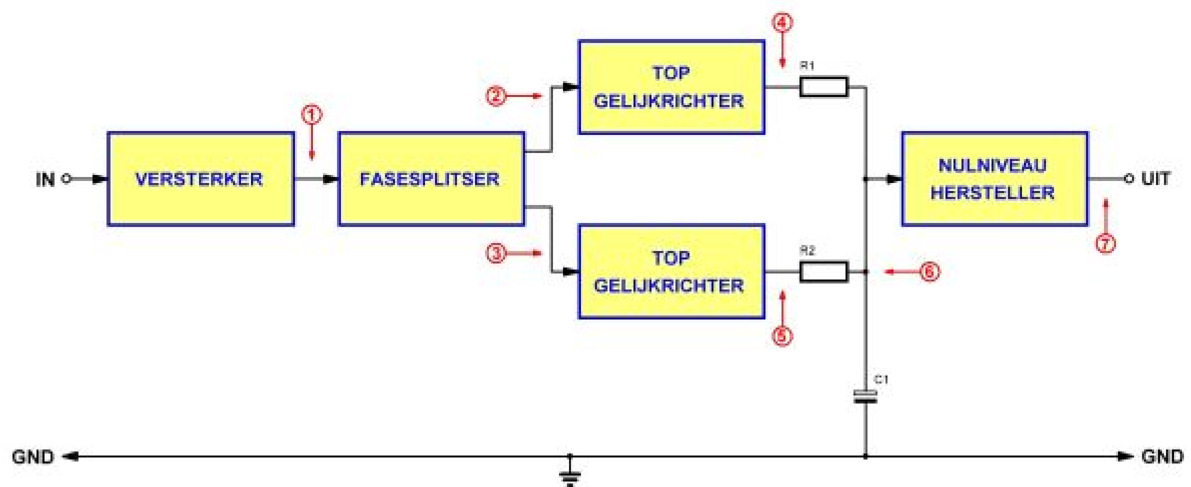


Het opheffen van overspraak in een audiosysteem. (© 2019 Jos Verstraten)

Toepassing 2: peak programme meters

Waar gaat het over?
Een peak programme meter is een meter waarmee u de signaalpieken in een signaal kunt zichtbaar maken. De schakeling moet zowel reageren op positieve als op negatieve pieken. In feite moet het signaal worden omgezet in een gelijkspanning, die de contouren van het signaal exact volgt. U kunt zo'n schakeling niet ontwerpen zonder gebruik te maken van een fasesplitser.

Het blokschema van de schakeling
Het ingangssignaal wordt aangeboden aan een voorversterker, waarmee u de gevoeligheid van de schakeling kunt instellen. Na de voorversterker volgt de fasesplitser, die het versterkte ingangssignaal omvormt tot twee gespiegelde spanningen. Deze twee signalen worden door twee topgelijkrichters onder handen genomen. De twee gelijkgerichte uitgangsspanningen sturen de laadcondensator C1 via de weerstanden R2 en R3. Over de condensator ontstaat een positieve gelijkspanning, waarvan de waarde de signaalpieken trouw volgt. De laatste trap van het blokschema, de nulniveau hersteller, eist enige toelichting. U zult de schakeling waarschijnlijk voeden uit een positieve voedingsspanning. Dat heeft tot gevolg dat alle spanningen gesuperponeerd zijn op de helft van de voedingsspanning. De gelijkgerichte signaalspanning U6 zal bijgevolg ook op de helft van de voedingsspanning zitten. Dat is niet zo leuk, want een en ander heeft tot gevolg dat bij 0 V signaal op de ingang er toch een gelijkspanning van ongeveer +6 V over de condensator C1 staat. U kunt deze spanning niet zonder meer aan de ingangsklemmen van een meter aanleggen. De spanning zou de meter 'naar de hoek sturen'. U moet er voor zorgen dat alleen maar de gelijkgerichte signaalspanning naar de meter wordt gestuurd. Vandaar de extra schakeltrap, die nuttige meetspanning en instelspanning van elkaar scheidt.



Het blokschema van een peak programme meter.

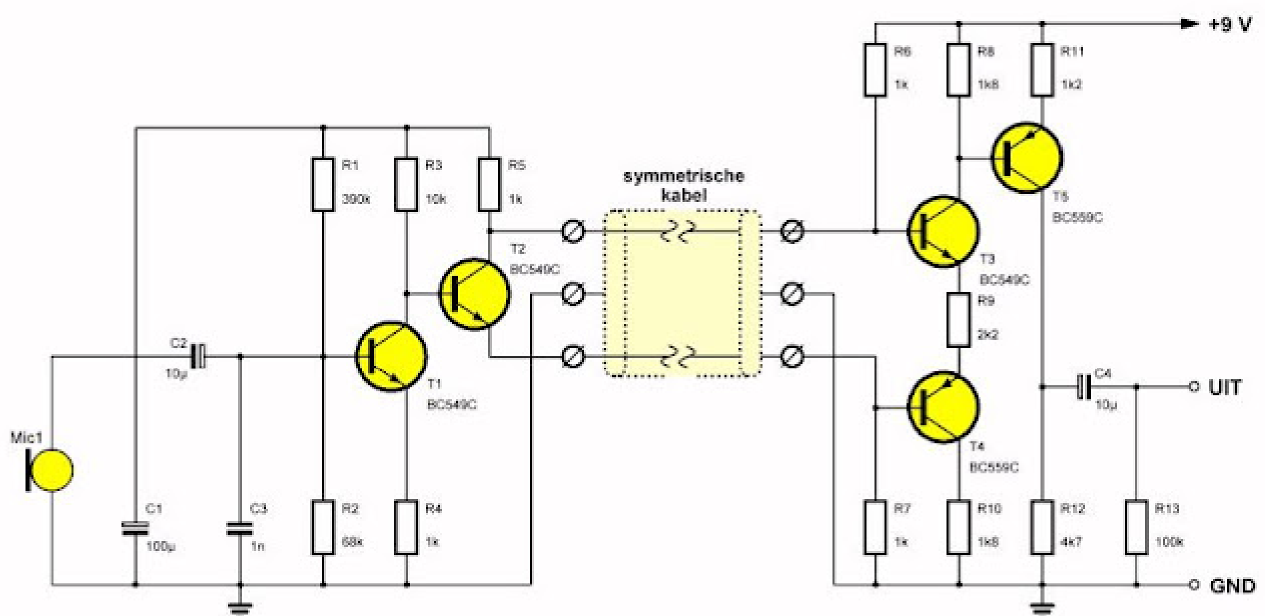
Toepassing 3: symmetrische signalen maken

Waar gaat het over?

Een derde praktische toepassing van een fasesplitser is het sturen van asymmetrische signalen over een symmetrische leiding. Bij een normale afgeschermde leiding ligt het *'hete'* signaal aan de centrale geleider en het *'koude'* signaal aan de afscherming van de kabel. Deze afscherming wordt verbonden met de massa van de schakeling.
Voor sommige toepassingen, bijvoorbeeld het transporteren van microfoonsignalen in een erg verontreinigde omgeving, is dat niet aan te bevelen. De afgeschermde leiding pikt dan toch nog stoorsignalen op, bijvoorbeeld van zware lichtdimmers, met als gevolg geratel in het geluid. In dergelijke gevallen kunt u veel beter gebruik maken van een symmetrische kabel, waarbij zowel de hete als koude signalen afgeschermd getransporteerd worden. Heet en koud moeten dan in tegenfase zijn en nadien in de ontvanger weer door middel van een verschilversterker in een normaal signaal worden omgezet. Stoorbronnen zullen nu zowel in de hete als in de koude geleider identieke stoorpulsen induceren, die door de verschilversterker keurig worden uitgefilterd.
Het zal duidelijk zijn dat u voor dit soort toepassingen uitstekend gebruik kunt maken van een fasesplitser.

Een praktische schakeling

In de onderstaande figuur een praktische schakeling getekend. Het schema is een microfoonversterker, waarbij een deel van de elektronica wordt ingebouwd in de microfoon en een ander deel in de mengversterker. De microfoon wordt aangesloten op een eenvoudige een-trap versterker rond T1. De versterking van deze trap bedraagt tien. Het collectorsignaal gaat naar T2, geschakeld als fasesplitser. De twee even grote collector- en emitterweerstanden zijn aan de andere kant van de kabel, dus in de mengversterker, aanwezig (R6 en R7). De geleidende transistor T2 stuurt via de aders van de kabel een stroom door de weerstanden R6 en R7. Deze stroom wekt over de twee even grote weerstanden even grote signalen op, die echter in fase gedraaid zijn. Deze signalen worden verwerkt door een eenvoudige verschilversterker.
Het voordeel van deze schakeling is dat u de voeding voor de elektronica in de microfoon via dezelfde kabel kunt verzenden.

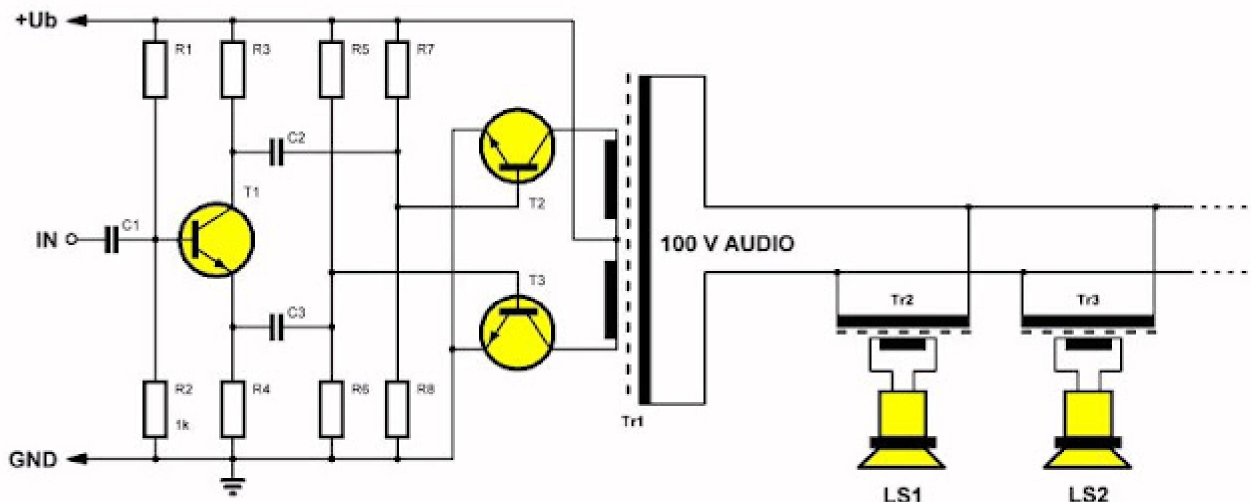


Een fasesplitser wordt in deze schakeling gebruikt voor het symmetrisch afsluiten van een microfoon. (© 2019 Jos Verstraten)

Toepassing 4: aansturing van push-pull eindtrappen

Waar gaat het over?
Bij sommige audio-installaties wordt het uitgangssignaal van de versterker via een transformator opgevoerd tot 100 V. Dat zijn de zogenaamde *'100 V public address'* systemen die worden toegepast bij het distribueren van geluid met tientallen luidsprekers over grote afstanden. Voor het primair sturen van deze uitgangstrafo wordt vrijwel steeds gebruik gemaakt van een push-pull eindtrap, waar twee identieke eindtransistoren ieder de helft van de primaire wikkeling van stroom voorzien.

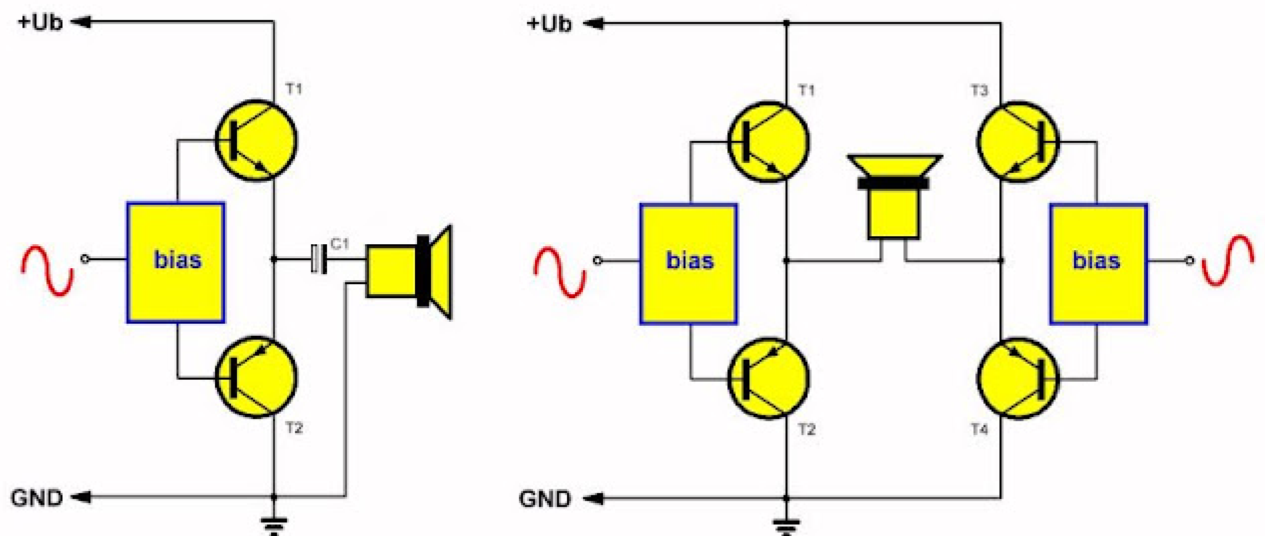
Een praktische schakeling
In de onderstaande figuur is een praktische schakeling van een dergelijke versterker getekend. Transistor T1 is de fasesplitser. De twee uitgangen van deze schakeling sturen ieder de basis van een vermogenstransistor. Bij de positieve halve sinus van het ingangssignaal stuurt de signaalspanning over de weerstand R4 de transistor T4 in geleiding. Bij de negatieve halve sinus stuurt de signaalspanning over weerstand R3 de transistor T3 in geleiding. De secundaire 100 V lijnspanning wordt in de aangesloten luidsprekers via een transformator weer gereduceerd tot een veel lagere spanning die de spreekspoel van de luidspreker van stroom voorziet.



Een fasesplitser wordt gebruikt voor het sturen van een push-pull eindtrap. (© 2019 Jos Verstraten)

Toepassing 5: aansturing van brugversterkers

Waar gaat het over?
Het vermogen dat een eindversterker aan een luidspreker kan leveren hangt in hoge mate af van de beschikbare voedingsspanning. In de onderstaande figuur is links getekend hoe u kunt werken als u maar één voedingsspanning ter beschikking hebt, bijvoorbeeld de 12 V van uw auto-accu. De twee eindtransistoren zijn zo ingesteld dat in rust op het knooppunt van beide emitters de helft van de voedingsspanning staat. U kunt de luidspreker dus niet rechtstreeks aan dat punt koppelen, want dan zou de spreekspoel onmiddellijk verbranden door de grote gelijkstroom die dan gaat vloeien. Vandaar dat u een grote elco C1 in serie met de luidspreker moet opnemen. Hierdoor wordt de maximale signaalspanning die u aan de luidspreker kunt aanbieden nogal beperkt. Het uitgangssignaal dat de versterker levert verdeelt zich immers over de impedantie van de elco en de impedantie van de spreekspoel. Kortom, u kunt maar weinig vermogen naar de luidspreker sturen.



Het principe van de brugversterker. (© 2019 Jos Verstraten)

In de bovenstaande figuur is rechts een koppeling tussen luidspreker en twee eindversterker, die in brug zijn geschakeld, voorgesteld. Bij deze brugschakeling zit de luidspreker tussen twee identieke complementaire eindtrappen. Het grote voordeel van deze configuratie is dat u het maximaal vermogen uit de beschikbare voedingsspanning naar de luidspreker kunt sturen. Er is nu immers geen elco nodig, die signaalspanning opslurpt. In rust staan zowel de linker als de rechter aansluiting van de luidspreker op de helft van de voedingsspanning. Er vloeit geen gelijkstroom door het onderdeel.
Nadeel van deze brugschakeling is dat u de twee eindtrappen met signalen moet sturen die in tegenfase zijn. Als het signaal aan de ene ingang stijgt, dan moet het signaal aan de tweede ingang dalen. U moet dus een extra trap inschakelen, die het ingangssignaal 180 graden in fase verschuift. Uiteraard is de fasesplitser daarvoor een ideale schakeling!